

УДК 621.771

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГЕОМЕТРИИ ЯЩИЧНЫХ КАЛИБРОВ ВАЛКОВ НА ОБРАЗОВАНИЕ ТЕРМОЦИКЛИЧЕСКИХ ТРЕЩИН В УСЛОВИЯХ МЕЛКОСОРТНО-ПРОВОЛОЧНОГО СТАНА ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ 370/150 ОАО “БЕЛОРУССКИЙ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ ЗАВОД – УПРАВЛЯЮЩАЯ КОМПАНИЯ ХОЛДИНГА “БМК”

*А. В. СТРЕЛЬЧЕНКО<sup>1</sup>, инженер-технолог лаборатории прокатного производства исследовательского центра – отраслевой лаборатории технологий металлургического и сталепроволочного производств, [teh.icm@bmz.gomel.by](mailto:teh.icm@bmz.gomel.by); И. А. ЗУЕВ<sup>1</sup>, инженер-технолог 2-й категории лаборатории прокатного производства исследовательского центра – отраслевой лаборатории технологий металлургического и сталепроволочного производств; И. В. АСТАПЕНКО<sup>2</sup>, канд. с.-х. наук, доцент кафедры “Металлургия и технологии обработки материалов”*

*(<sup>1</sup> ОАО “Белорусский металлургический завод – управляющая компания холдинга “Белорусская металлургическая компания”, Республика Беларусь, г. Жлобин; <sup>2</sup> Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого, Республика Беларусь, г. Гомель)*

**Аннотация.** В сортопрокатном производстве широко применяются валки с ящичными калибрами, что объясняется лучшей захватывающей способностью и высоким коэффициентом вытяжки. Однако наряду с указанными преимуществами есть и существенные недостатки — образование сетки разгара по дну калибра и боковых трещин на боковых выпусках. Осуществлено исследование влияния основных технологических параметров процесса прокатки на износ, его величину и характер распределения по периметру калибра. Показаны возможности снижения или перераспределения износа с целью увеличения срока службы валков. Представлены результаты исследования причин образования термоциклических трещин на боковых выпусках ящичных калибров. С использованием моделирования выполнено три численных эксперимента: базовый в соответствии с параметрами действующего технологического процесса и два предлагаемых, в которых варьировалась геометрия выпуска калибра, оценивалось ее влияние на нагрев боковой поверхности, контактное давление и контакт с полосой. На основе анализа результатов моделирования этих экспериментов установлено: образование боковых трещин происходит вследствие неравномерного температурного расширения боковой поверхности и дна калибра; значительно более длительный контакт выпусков ящичного калибра приводит к критическим растягивающим термическим напряжениям на его поверхности; с помощью изменения геометрии выпуска калибра можно влиять на динамику температурного расширения поверхности калибра и значительно ее уменьшить.

**Ключевые слова:** сортопрокатное производство, прокатные валки, ящичные калибры, износ калибров, термоциклические напряжения, сетка разгара, трещинообразование.

**Ссылка для цитирования.** Стрельченко А.В., Зуев И.А., Астапенко И.В. Исследование влияния геометрии ящичных калибров валков на образование термоциклических трещин в условиях мелкосортно-проволочного стана горячей прокатки 370/150 ОАО “Белорусский металлургический завод – управляющая компания холдинга “БМК” // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2019. Т. 75. № 1. С. 80–85.

**Doi:** 10.32339/0135-5910-2019-1-80-85

## STUDY OF ROLLERS BOX PASSES INFLUENCE ON FORMATION OF THERMOCYCLIC FRACTURES UNDER CONDITIONS OF 370/150 WIRE ROD HOT MILL OF “BELORUSSKY STEEL-WORKS – MANAGING COMPANY OF “BMK” HOLDING

*A. V. STREL'CHENKO<sup>1</sup>, engineer-technologist of the Laboratory of rolling production, Research Center – industry laboratory of metallurgical and wire rolling technologies, [teh.icm@bmz.gomel.by](mailto:teh.icm@bmz.gomel.by);  
I. A. ZUEV<sup>1</sup>, 2nd category engineer-technologist of the Laboratory of rolling production, Research Center – industry laboratory of metallurgical and wire rolling technologies;  
I. V. ASTAPENKO<sup>2</sup>, PhD (Agric), Ass. Prof., Dpt “Metallurgy and technology of materials processing  
(<sup>1</sup> OJSC “Belorussky steel-works” – managing company of Holding “Belorussky metallurgical company”, Republic of Belarus, Zhlobin; <sup>2</sup> Gomel' State Technical University after P.O. Sukhoi, Republic of Belarus, Gomel')*

**Abstract.** Rollers with box passes are widely used in long products manufacturing, that can be explained by better gripping ability and a high drawing out coefficient. However, along with the stated advantages there are considerable drawbacks – formation of an erosion net at a pass bottom and side fractures at side outlets. Study of main technological parameters of rolling process influence on wear, its value and character of distribution along a pass perimeter. Possibilities shown to decrease or redistribute the

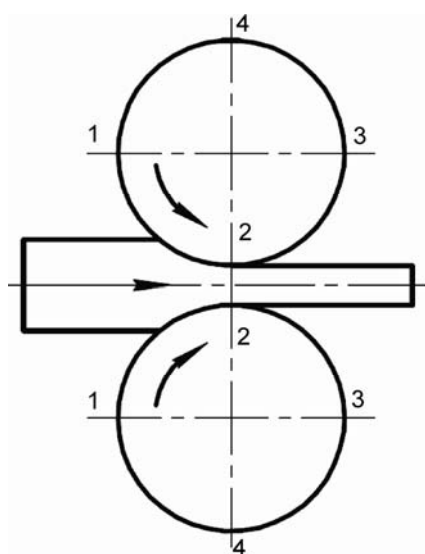
wear aimed at an increase of rollers service life. Results of reasons study of thermocyclic fractures formation at side outlets of box passes presented. By application of simulation three digital experiments were made: a base one – according to parameters of existing technological process and two being proposed, in which a pass outlet geometry was varied, estimated its influence on the side surface heating, contact pressure and contact with strip. Based on the experiments simulation results analysis the following was determined: formation of side fractures takes place as a result of uneven temperature expansion of side surface and pass bottom; considerably longer contact of box pass outlets results in critical expanding thermal stresses at its surface. Besides, it was determined, that by a pass outlet geometry changing it is possible to control the dynamic of thermal expanding of a pass surface and considerably decrease it.

**Key words:** long products production, rolling rollers, box passes, passes wear, thermocyclic stresses, erosion net, fracture formation.

**For citation.** Strel'chenko A.V., Zuev I.A., Astapenko I.V. Study of rollers box passes influence on formation of thermocyclic fractures under conditions of 3270/150 wire rod hot mill of “Belorussky steel-works – managing company of “BMK” holding. *Chernaya metallurgiya. Byulleten' nauchno-tekhnicheskoi i ekonomicheskoi informatsii = Ferrous metallurgy. Bulletin of scientific, technical and economic information*, 2019, vol. 75, no. 1, pp. 80–85. (In Russ.).

**Doi:** 10.32339/0135-5910-2019-1-80-85

При прокатке поверхность калибра валка соприкасается с металлом, имеющим температуру 800–1250 °С. Каждый элемент поверхности калибра валка во время одного оборота проходит через положения 1–4 (рис. 1) и подвергается попеременному действию высокой температуры и охлаждения. В положении 2 элемент поверхности подвергается быстрому нагреванию от прокатываемого металла, в положениях 3, 4 и 1 происходит распространение тепла в массу валка и охлаждение поверхности водой и воздухом.



**Рис. 1.** Схема прокатки

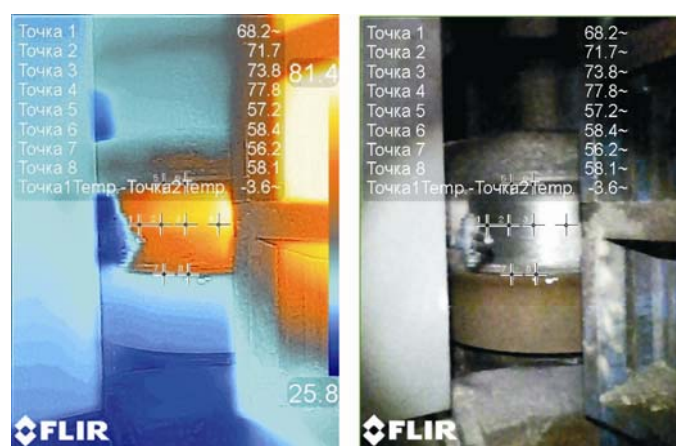
**Fig. 1.** Diagram of rolling

Элемент поверхности калибра большую часть времени охлаждается и только доли секунды находится в контакте с источником тепла — прокатываемым металлом. Поэтому высокому нагреву подвергается лишь тонкий кольцевой поверхностный слой [1].

В сортопрокатном цехе № 2 на мелкосортно-проволочном стане горячей прокатки 370/150 ОАО “Белорусский металлургический завод – управляющая компания холдинга “БМК” специа-

листы исследовательского центра провели исследование причин образования термоциклических боковых трещин на выпусках ящичного калибра валков клетки № 1. Работа осуществлялась в два этапа.

На первом экспериментальном этапе производилось измерение температуры поверхности валков. Было произведено более 100 съемок температуры поверхности калибра валков клетки № 1, при помощи тепловизионной камеры Flir T640 с точностью измерения  $\pm 2\%$  от показаний. Результаты измерений представлены на рис. 2.



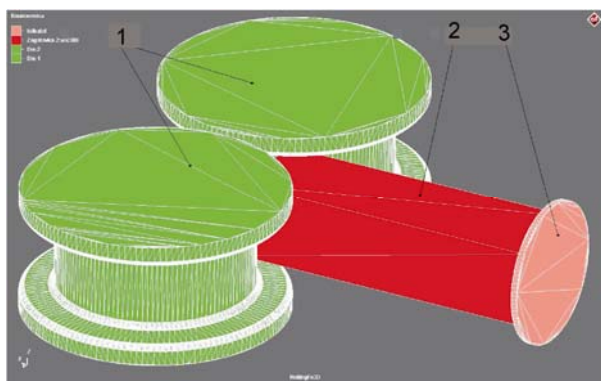
**Рис. 2.** Термограмма калибра валка клетки № 1 черновой группы стана 370/150

**Fig. 2.** Thermal diagram of roller pass of 370/150 mill roughing group stand No. 1

Температура поверхности на верхнем и нижнем радиусах выпуска калибра (см. рис. 2, точки 5, 6 и 7, 8) ниже на 15 °С, чем на дне калибра (см. рис. 2, точки 1–4), и повышается ко входу в очаг деформации за счет прогрева от подповерхностных слоев.

На втором экспериментальном этапе исследования температуры рабочих валков применялась разработанная математическая модель температурного поля в очаге деформации прокатки полосы в черновой группе стана 370/150 (рис. 3). Валки расположены вертикально. Тол-

катель имитирует подачу заготовки с помощью трайб-аппарата, установленного перед клетью № 1. Геометрия сечения заготовки и калибра модели соответствует условиям действующего технологического процесса.



**Рис. 3.** Математическая модель прокатки полосы в клетю № 1 черновой группы стана 370/150:  
1 — валки с калибром; 2 — заготовка; 3 — толкатель

**Fig. 3.** Mathematical model of strip rolling in the stand No. 1 of 370/150 mill roughing group:  
1 — rollers with pass; 2 — billet; 3 — pusher

Задача решена методом конечных элементов на основе дифференциального уравнения теплопроводности. С этой целью очаг деформации разбивается на трехмерные комплекс-элементы. Ввиду невозможности аналитического решения

задачи для ее приближенного решения также использовалась разновидность проекционного метода — метод Галеркина.

При горячей прокатке теплообмен с окружающей средой в очаге деформации осуществляется в основном за счет контактного теплообмена с валками прокатного стана, теплопередачи излучением в окружающую среду и конвективной теплопередачи. Поскольку, согласно известным исследованиям, конвективной теплопередачей можно пренебречь, для решения температурной задачи приняли следующие граничные условия:

- на входе в очаг деформации температура металла считается известной;
- на свободной поверхности имеет место теплопередача излучением в окружающую среду, которая описывается формулой Стефана–Больцмана;
- на контактной поверхности имеет место теплообмен между деформируемым металлом и поверхностью валков;
- на остальных поверхностях, ограничивающих часть очага деформации, тепловой поток равен нулю [2].

Математическая модель позволяет выполнять численное моделирование температурного поля в очаге деформации и может служить частью комплекса для моделирования и проектирования технологии прокатки сортовых профилей.

### Результаты численного эксперимента

С помощью адекватной численной модели было выполнено три численных эксперимента: базовый в соответствии с действующим технологическим процессом и два предлагаемых, в которых варьировалась геометрия выпуска калибра, оценивалось ее влияние на нагрев боковой поверхности, контактное давление и контакт с полосой.

**Эксперимент № 1.** Модель по геометрии калибра, применяемой для валков клетки № 1. Исходные данные для базового численного моделирования эксперимента № 1 приведены ниже:

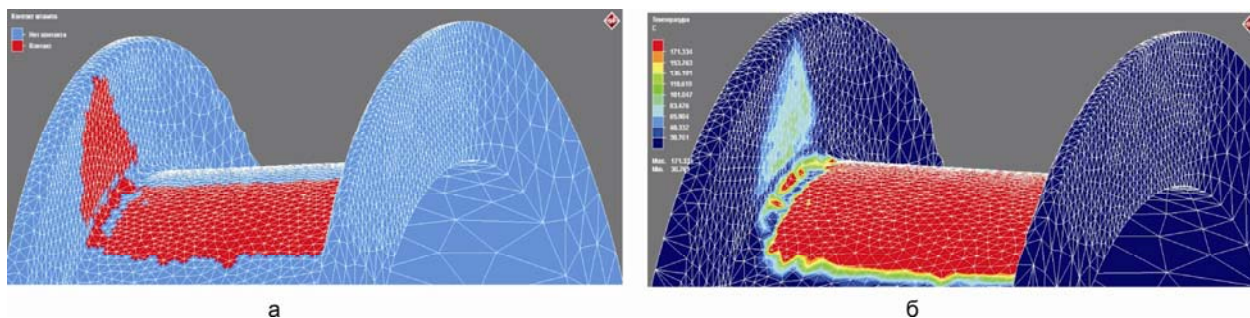
Параметр модели	Клеть № 1
Диаметр дна калибра валка, мм	633,7
Угол захвата полосы, град.	23
Обжатие полосы в клетю ( $h_0 - h_1$ ), мм	50
Межвалковый зазор $S$ , мм	30
Высота×ширина полосы, мм	300×250
Скорость прокатки, м/с	0,16

Параметр модели	Клеть № 1
Температура, °C:	
полосы перед прокаткой	1150
валков перед прокаткой	30

Анализ результатов моделирования по контакту поверхности калибра с полосой и распределения температурного поля по поверхности калибра позволяет сделать следующие выводы:

- выпуск и дно калибра перед радиусом выпуска имеют неравномерный контакт с заготовкой;
- быстрый прогрев и охлаждение указанных зон вызывает области концентрации термоциклических напряжений на поверхности выпуска калибра;
- критические области модели соответствуют характерным зонам образования сетки разгара на поверхности дна калибра и боковых поперечных трещин на поверхности выпусков калибра (рис. 4 и 5).





**Рис. 4. Эксперимент № 1:**

*а — контакт полосы с поверхностью калибра; б — температура на поверхности калибра*

**Fig. 4. Experiment No. 1:**

*a — contact of the strip with the pass surface; б — temperature on the pass surface*



**Рис. 5. Сетка разгара на поверхности калибра валка клетки № 1**

**Fig. 5. Erosion net on the roller pass surface, stand No. 1**

Для оценки полученных результатов базового эксперимента рассмотрим дополнительно параметры полосы в очаге деформации установившегося режима. Анализ образующейся поверхности контакта полосы и калибра валка позволяет выделить три характерные области обжата полосы (рис. 6):

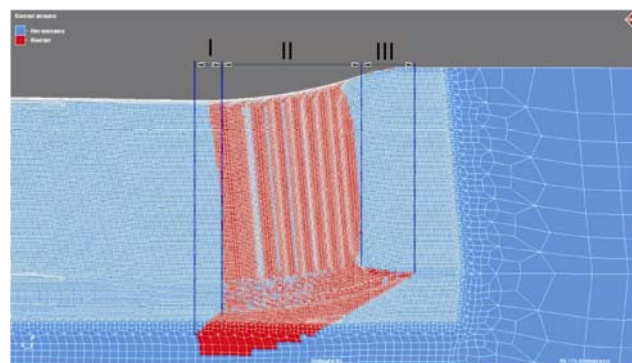
- только выпусками калибра на выходе из очага деформации (зона I);
- поверхностями выпусков и дна калибра в центре очага деформации (зона II);
- только выпусками калибра на входе в очаг деформации (зона III).

В зонах I и II контакт, а значит и нагрев, происходит только по поверхности выпуска калибра. Длина зон I и II сопоставима с длиной зоны III. Неравномерность прогрева и охлаждения поверхности выпуска по отношению к поверхности дна калибра значительна и способна вызвать

значительные термоциклические напряжения в продольном направлении. Указанные явления могут быть причиной образования термоциклических трещин выпусков калибров. Соотношение зон очага деформации I и II с зоной III является основной предпосылкой величины термоциклических напряжений на выпуске, а следовательно его уменьшение позволит снизить вероятность образования трещин.

Для определения влияния параметров элемента калибра на возможность изменения соотношения зон были построены две модели:

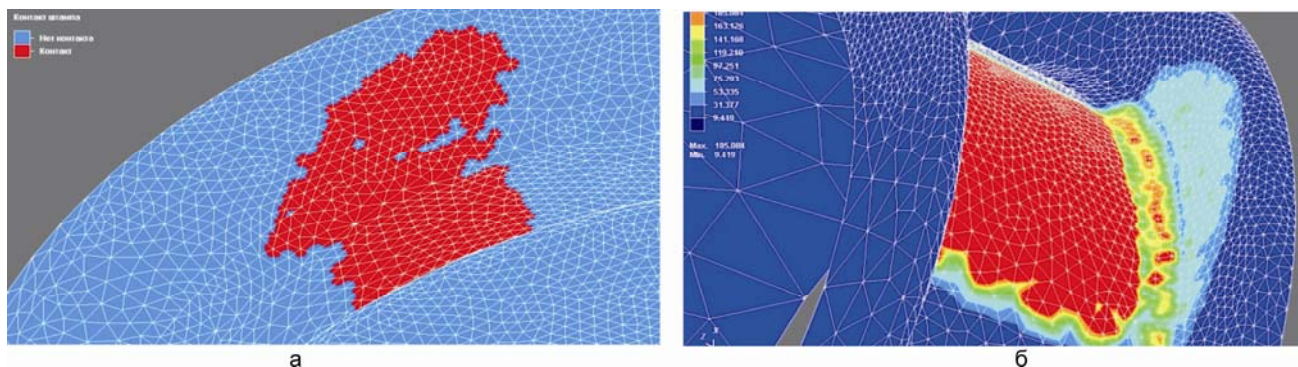
- с заменой радиуса выпуска на катет;
- с увеличением угла выпуска.



**Рис. 6. Характерные области очага деформации для ящичного калибра**

**Fig. 6. Character areas of deformation focus for box pass**

**Эксперимент № 2.** Модель по геометрии калибра с заменой радиуса на катет (рис. 7).



**Рис. 7. Результаты эксперимента № 2:**

*a — контакт полосы с поверхностью калибра; б — температура на поверхности калибра*

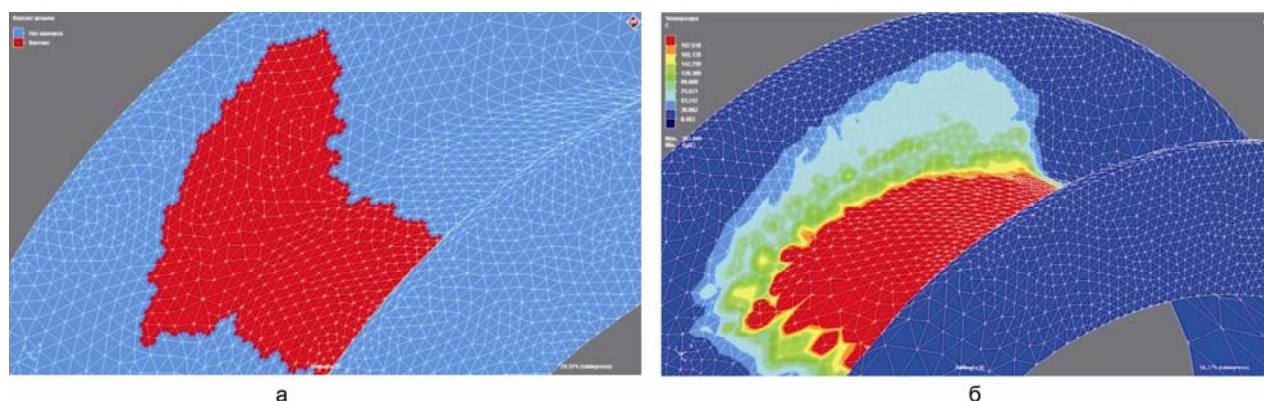
**Fig. 7. Results of experiment No. 2:**

*a — contact of strip with the pass surface; б — temperature on the pass surface*

Равномерность контакта полосы на катете выпуска улучшается по сравнению с радиусом, зоны неравномерного прогрева уменьшаются. Однако результат нельзя назвать удовлетворительным. Кроме того, катет на выпуске снижает захватывающую способность калибра — основ-

ное преимущество ящичной геометрии. Поэтому такое изменение геометрии калибра не подходит для решения задачи.

**Эксперимент № 3.** Модель с увеличением угла и уменьшением радиуса выпуска (рис. 8).



**Рис. 8. Результаты эксперимента № 3:**

*a — контакт полосы с поверхностью калибра; б — температура на поверхности калибра*

**Fig. 8. Results of experiment No. 3:**

*a — contact of strip with the pass surface; б — temperature on the pass surface*

Контакт калибра с полосой стал значительно лучше. Расширились зоны одновременного прогрева дна калибра и поверхности выпуска. Это снижает вероятность возникновения растягивающих напряжений на выпуске. Кроме того, увеличение угла выпуска способствует лучшему течению металла в поперечном направлении и улучшает захват заготовки.

Анализ результатов моделирования экспериментов № 1–3 позволяет сделать следующие выводы:

- образование боковых трещин происходит в результате неравномерного температурного расширения боковой поверхности и дна калибра;

- значительно более длительный контакт выпусков ящичного калибра приводит к критическим растягивающим термическим напряжениям на его поверхности, способствующим трещинообразованию;

- с помощью изменения геометрии выпуска калибра можно влиять на динамику температурного расширения поверхности калибра и значительно ее уменьшить.

Калибровка эксперимента № 3 (лучшее течение металла в поперечном направлении, улучшение захвата заготовки) может привести к минимизации боковых трещин за счет равномерного температурного расширения боковой поверхности и дна калибра.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Эксплуатация валков обжимных и сортовых станов / Н.М. Воронцов, В.Т. Жадан, Б.Я. Шнееров и др. — М.: Металлургия, 1973. — 288 с.
2. Третьяков А.В., Грачев А.В., Орешкин П.Т. Температурный режим работы валков прокатных станов. — М.: Металлургия, 1964. — 110 с.

*Поступила 24 сентября 2018 г.*

#### REFERENCES

1. Vorontsov N.M., Zhadan V.T., Shneerov B.Ya., Pavlovskii V.Ya., Kulak Yu.E., Gunin I.V. *Ekspluatatsiya valkov obzhimnykh i sortovykh stanov* [Utilization of rollers of roughing and long products mills]. Moscow: Metallurgiya, 1973, 288 p. (In Russ.).
2. Tret'yakov A.V., Grachev A.V., Oreshkin P.T. *Temperaturnyi rezhim raboty valkov prokatnykh stanov* [Temperature regime of rolling mills rollers operation]. Moscow: Metallurgiya, 1964, 110 p. (In Russ.).

*Received September 24, 2018*